

## Lebenszyklusanalyse von recyceltem Polypropylen (r-PP) für spritzgegossene Behälter für scharfe Gegenstände

Juli 2023



### Einleitung

In dieser Studie werden die Umweltauswirkungen bewertet, die mit der Sammlung und dem Recycling von Polypropylen (PP)-Abfällen sowie deren Weiterlieferung und Herstellung (durch Spritzgießen) zu Behältern für scharfe Gegenstände mit hohem Recyclinganteil verbunden sind. Der Recyclingvorgang findet in Südwaales statt, ebenso wie die Compoundierung und die Spritzgießschritte. In weiteren Analysen werden spritzgegossene Produkte aus neuem PP berücksichtigt, um einen Vergleich der Umweltleistung anstellen zu können. Die Modellierung erfolgt auf der Grundlage „von der Wiege bis zum Tor“, da davon ausgegangen wird, dass die Optionen für das Ende der Lebensdauer unabhängig von der PP-Quelle identisch sind.

### Daten und Annahmen

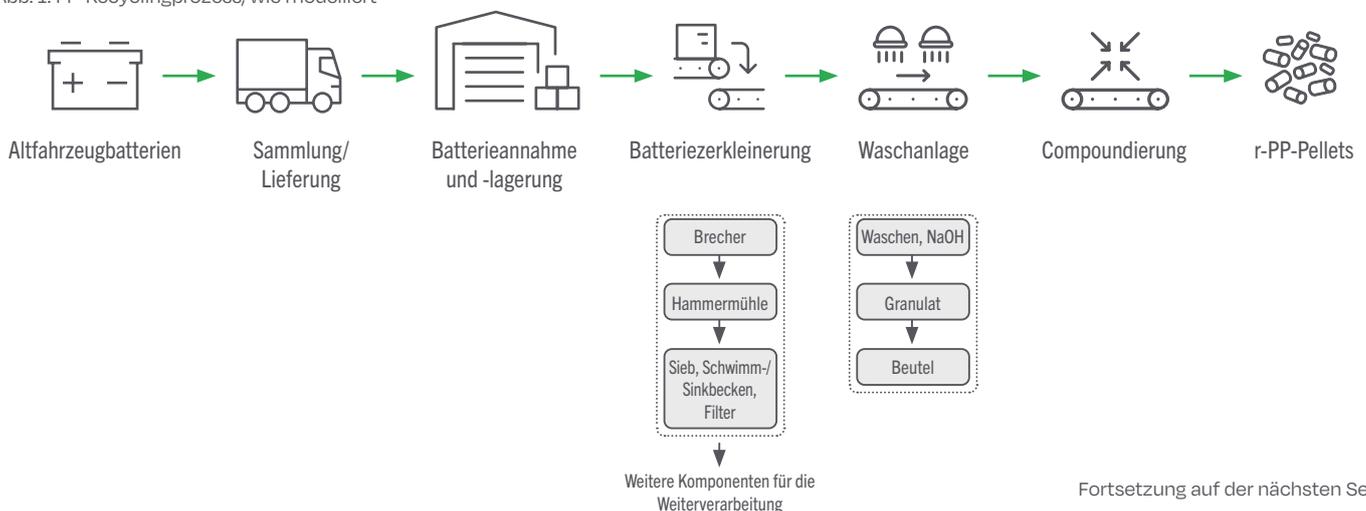
#### Recyclingbetrieb:

Das recycelte PP für die Behälter für scharfe Gegenstände wurde von einer Recyclinganlage in der Nähe des Produktionsstandorts bezogen. Die Modellierung ihres Recyclingprozesses, einschließlich der Sammlung und Lieferung von Abfallmaterial an ihren Standort, basierte auf vertraulichen Gesprächen mit der Recyclinganlage. Detaillierte Massen- und Energiedaten für ihren Betrieb basierten auf den Abschlüssen eines ganzen Jahres. Ihr Prozess gewinnt gebrauchte Rohstoffe aus dem gesamten Vereinigten Königreich zurück und stellt daraus mehrere recycelte Produkte her, darunter auch r-PP. In einer ersten Materialtrennphase wird ungewaschenes PP von den übrigen Bestandteilen getrennt, die jeweils weiter verarbeitet werden müssen, bevor sie marktreif sind (siehe Abbildung 1 unten). Daher wurde ein massenbasierter Zuordnungsansatz gewählt, um die Belastungen aus dieser Phase auf die einzelnen resultierenden Zwischenfraktionen zu verteilen. In der Nähe des Produktionsstandorts findet ein separater Mischungsschritt statt, um fertige r-PP-Pellets herzustellen, die für das Spritzgießen bereit sind.

#### Sammlung und Lieferung an Recyclingunternehmen:

Explizite Daten zu diesem Schritt waren nicht verfügbar, obwohl die Recyclinganlage einige Rahmendaten zu den Lieferungen an ihren Standort bereitstellte. Auf der Grundlage dieser Rahmendaten wurde eine durchschnittliche Transportentfernung von 200 km angenommen. Es wurde davon ausgegangen, dass 75 % der Lieferentfernungen mit LKWs der Kategorie >32 t zurückgelegt werden, der Rest mit kleineren LKWs der Kategorie 16-32 t. Es wurde angenommen, dass alle Fahrzeuge den neuesten europäischen Emissionsvorschriften (EURO6) entsprechen. Die potenziellen Auswirkungen dieser Annahmen auf die Gesamtergebnisse werden später in diesem Bericht untersucht.

Abb. 1: PP-Recyclingprozess, wie modelliert



Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

### Compoundierung und Spritzgießen:

Es wurde davon ausgegangen, dass die Inputs für Compoundierung und Spritzgießen unabhängig von der PP-Quelle gleich sind. Gute LCI-Daten für diese Prozesse wurden von Ecoinvent v31 bezogen und basieren auf durchschnittlichen europäischen Inputs für moderne Verarbeitungsanlagen. Die Daten wurden dann angepasst, um den Stromverbrauch aus dem britischen Netz speziell widerzuspiegeln. Diese Datensätze enthalten Standardannahmen bezüglich der Abfallanteile (nach der Rückführung) von 2,4 % Compoundierabfall und 0,6 % Spritzgussabfall. Es wurde angenommen, dass dieser Abfall in die bestehende gewerbliche/industrielle Abfallentsorgungsinfrastruktur gelangt.

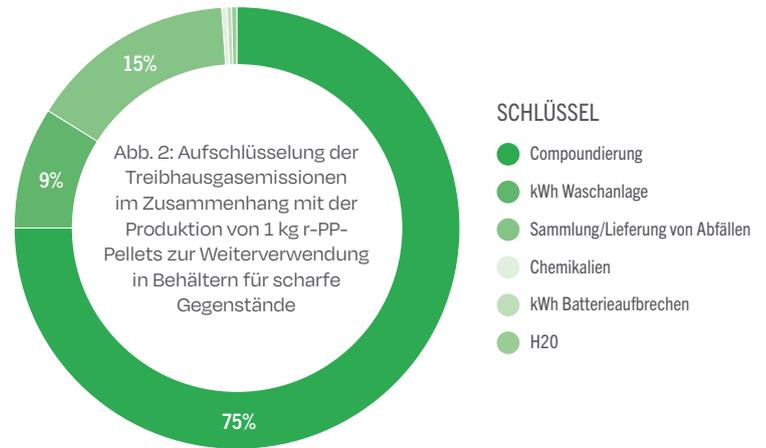
### LCI-Daten und Modellierungsparameter:

Für alle übrigen Eingabedaten (Stromverbrauch, Transportaufwand, Chemikalien, Wasser usw.) wurde Ecoinvent v3 verwendet. Die Daten für die Produktion von neuem PP spiegeln das auf dem Weltmarkt verfügbare Material wider und sind nicht herstellereinspezifisch. Alle Daten wurden dann unter Verwendung eines Cut-off-Modellierungsansatzes und der ReCiPe 2016 v1 (H) Midpoint-Wirkungsabschätzungsmethode analysiert.

## Ergebnisse

### PP-Recycling

Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von recyceltem PP, das in der Recyclinganlage hergestellt und zu Pellets verarbeitet wird, beträgt 0,1534 kg CO<sub>2</sub>e/kg Pellets. Dies ist der Cradle-to-Gate-Fußabdruck, der alle Inputs bis zu dem Punkt berücksichtigt, an dem die Pellets das Tor des Compounders verlassen. Die Compoundierung macht 75 % dieses Fußabdrucks aus, während die Sammlung/Lieferung von Abfällen an die Recyclingunternehmen mit nur 15 % den zweitgrößten Beitrag leistet (siehe Abbildung 2). Der Stromverbrauch in der Phase der Materialzerkleinerung am Ende der Lebensdauer wurde zwischen PP und den anderen recycelbaren Fraktionen aufgeteilt, die in dieser Phase abgetrennt wurden (unter Verwendung eines massenbasierten Zuordnungsansatzes), und dieser Schritt macht >1 % des r-PP-Fußabdrucks aus.



### Auswirkung der Annahmen zu Sammlung/Lieferung (Fußabdruck der Recyclinganlage)

Während die Compoundierung der wichtigste Faktor im Zusammenhang mit dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von spritzgießfähigen Pellets ist, wird der Fußabdruck am Tor der Recyclinganlage stärker von der Sammlung/Lieferung von Abfällen an ihren Standort dominiert. Dieser Schritt macht 55 % des Fußabdrucks von r-PP aus, das compoundiert werden soll. Zu diesem Abschnitt des Lebenszyklus lagen nur wenige definitive Informationen vor, sodass zusätzliche Modellierungen durchgeführt wurden, um die potenziellen Auswirkungen der verwendeten Annahmen zu untersuchen. In dieser Sensitivitätsanalyse wurde ein Transportschritt mit höherer Belastung modelliert als zuvor angenommen (Tabelle 1 unten) und die Gesamtergebnisse wurden verglichen (Abbildung 3 auf der nächsten Seite). Aus dieser Analyse geht eindeutig hervor, dass die Sammel-/Lieferparameter ein wichtiger Faktor für das vollständige Verständnis des Fußabdrucks von r-PP sind, das die Recyclinganlage verlässt, und es wird empfohlen, weitere Arbeiten durchzuführen, um dies vollständig zu definieren.

### Herstellung von Behältern für scharfe Gegenstände

Die Erweiterung der Grenzen um die mit dem Spritzgießen verbundenen Inputs ergab Ergebnisse für fertige Behälter für scharfe Gegenstände (Abbildung 4 auf der nächsten Seite). Die Treibhausgasemissionen im Zusammenhang mit der Herstellung von r-PP-Behältern betragen 1,123 CO<sub>2</sub>e/kg Produkt. Dies ist etwa 66,07 % niedriger als die Zahl für das Virgin-PP-Produkt, das einen Fußabdruck von 3,31 kg CO<sub>2</sub>e/kg aufweist.

Tabelle 1: Modellierungsparameter für die Abfallsammlung/-lieferung

	Durchschnittliche Transportentfernung	200 km	300 km
	LKW-Klassifizierung, Bruttogewicht	75% >32t 25% 16-32t	25% >32t 75% 16-32t
	Emissionsstandard gemäß	EURO6	EURO5

Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Abb. 3: Treibhausgasemissionen, Produktion von 1 kg r-PP, ursprüngliche und höhere Transportannahmen

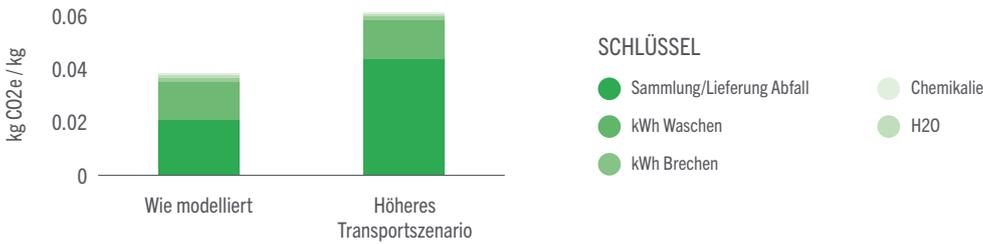
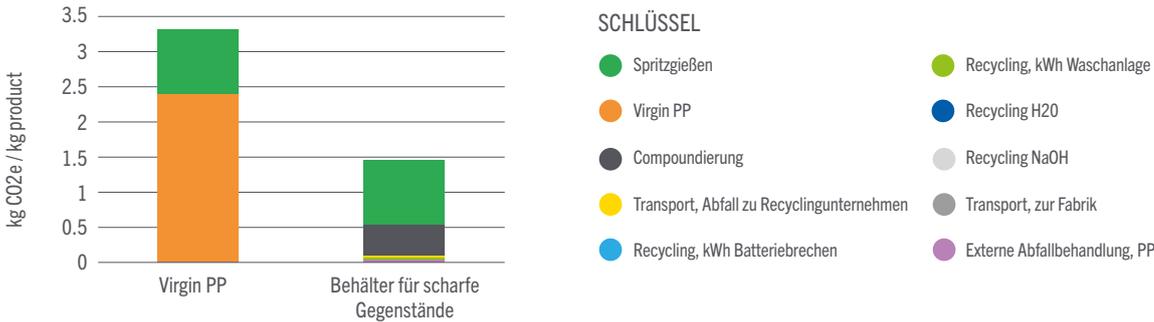


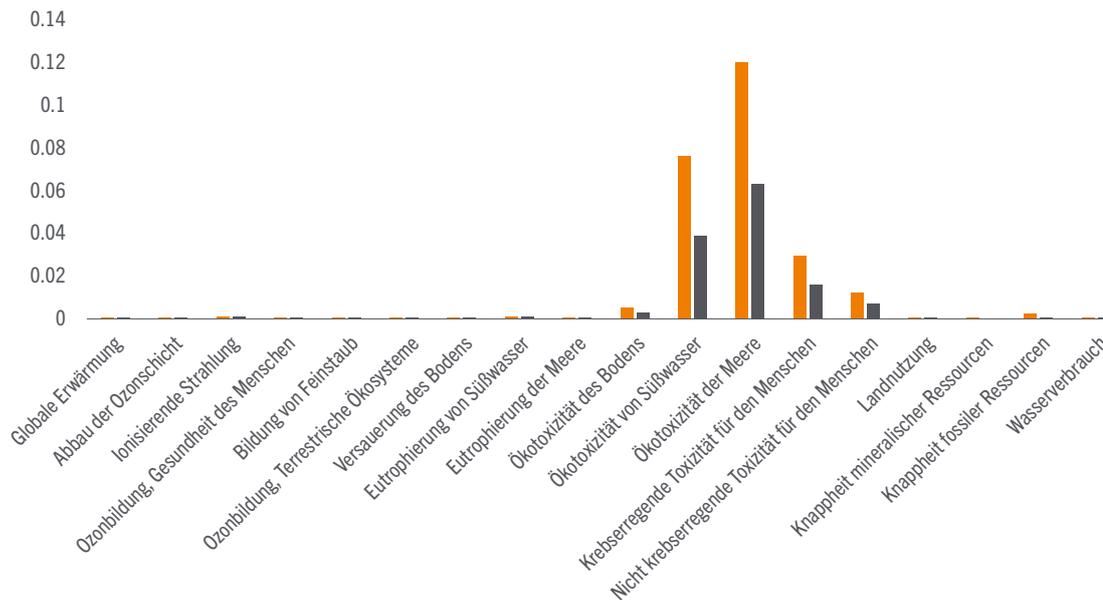
Abb. 4: Vergleich der Treibhausgasemissionen im Zusammenhang mit der Produktion von spritzgegossenen Behältern für scharfe Gegenstände, pro kg Fertigprodukt



## Andere Auswirkungen

Normalisierung ist ein Prozess zum Vergleich der relativen Auswirkungen in sehr unterschiedlichen Umweltkategorien. Sie ist nicht perfekt, gibt aber einen guten Einblick in Bereiche, die über den Klimawandel hinaus Anlass zur Sorge geben könnten. Die mit der Ökotoxizität verbundenen Faktoren erzielten hier die höchsten Werte. Dies hängt in erster Linie mit der Stromerzeugung zusammen, insbesondere für die Compoundierung, das Spritzgießen und die Produktion von neuem PP. Die r-PP-Scharfkantencontainer erzielten in allen Umweltwirkungskategorien (Abbildung 5 unten) niedrigere Werte (pro kg Produkt) als die entsprechenden neuen PP-Behälter.

Abb. 5: Normalisierte Ergebnisse für alle Auswirkungen pro kg Spritzgussprodukt



Fortsetzung auf der nächsten Seite ...



## Zusammenfassung

---

Der Recyclingbetrieb, der r-PP für die Behälter für scharfe Gegenstände liefert, stellte gute Daten zur Verfügung. Dies ermöglichte eine solide Analyse seiner Produktionsprozesse, obwohl weniger explizite Daten für die Abfallsammlung und den Lieferungsschritt vor der Ankunft an seinem Standort verfügbar waren.

Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck dieses r-PP, wenn es zu spritzgießfähigen Pellets verarbeitet wird, beträgt 0,1534 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Dies ist im Vergleich zu neuem PP gering, das bei einer durchschnittlichen Produktion in Europa in der Regel einen Fußabdruck von etwa 1,97 kg CO<sub>2</sub>e pro kg Pellets und 2,36 kg CO<sub>2</sub>e bei Bezug vom Weltmarkt aufweist.

Die Compoundierung machte den größten Teil des Fußabdrucks der Pellets aus (75,49 % der Gesamtmenge). Wenn der Betrieb in der Recyclinganlage berücksichtigt wird (d. h. die Herstellung von verpacktem Granulat vor der Compoundierung), dann machten die Treibhausgasemissionen im Zusammenhang mit der Sammlung und Lieferung von Abfallmaterial an die Recyclinganlage 55 % der Gesamtemissionen aus. Da die Daten zu diesem Schritt unsicher waren, wurde eine Szenarioanalyse durchgeführt, um die potenziellen Auswirkungen der Annahmen zu untersuchen, die zur Modellierung dieser Phase verwendet wurden. Die angenommene durchschnittliche Entfernung, der LKW-Typ und die Abgasemissionen wurden alle angepasst, um ein Szenario mit höherer Belastung zu erstellen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Manipulation der Transportbelastung einen erheblichen Einfluss auf den Fußabdruck von r-PP-Granulat hat, das die Recyclinganlage verlässt, was darauf hindeutet, dass weitere Untersuchungen zur besseren Definition dieser Phase wertvoll wären.

Die Erweiterung der Grenzen um den Transport der Pellets zum Produktionsstandort und die Herstellung der Behälter für scharfe Gegenstände zeigte, dass die mit der Compoundierung und dem Spritzgießen verbundene Energie den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Produkts dominiert (91,93 % der Gesamtmenge). Dies unterstreicht die geringe Auswirkung der PP-Recyclingphase. Der Fußabdruck des Behälters für scharfe Gegenstände selbst beträgt 1,123 kg CO<sub>2</sub>e pro kg Produkt. Im Vergleich dazu liegt der entsprechende Wert für fabrikneue PP-Behälter bei 3,31 kg CO<sub>2</sub>e pro kg.

Die Analyse anderer Umweltauswirkungen zeigte, dass Aspekte im Zusammenhang mit der Ökotoxizität nicht übersehen werden sollten, wenn man die Gesamtbelastung durch das Produkt betrachtet. Die Ökotoxizität war jedoch beim r-PP-Produkt im Vergleich zu fabrikneuem Material deutlich geringer. Im Fall des r-PP-Produkts stammen die ökotoxischen Belastungen hauptsächlich aus der Erzeugung von Netzstrom, der während des Compoundierens und Spritzgießens verbraucht wird. Die Umweltauswirkungen in allen von der Ökobilanz bewerteten Kategorien waren bei Behältern aus r-PP geringer als bei Behältern aus Neumaterial.

Schließlich ist zu beachten, dass diese Ergebnisse für die Herstellung von r-PP aus Altrohstoffen spezifisch für die in diesem Bericht beschriebenen Prozesse und Modelle sind. Daraus kann nicht abgeleitet werden, dass andere Rückgewinnungsverfahren notwendigerweise die gleichen oder ähnliche Ergebnisse liefern. Andere PP-Abfallströme und Rückgewinnungsverfahren sollten nun bewertet werden, um eine breite Palette von Ergebnissen zu ermitteln, die auf verschiedene Rückgewinnungsszenarien für gebrauchtes Polypropylen anwendbar sind.

## Be Sharp. Be Safe. Be Sustainable.

### Quellenangaben

1. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, 21(9), 1218–1230.

FÜR WEITERE INFORMATIONEN:

✉ [info@hospidex.eu](mailto:info@hospidex.eu)

🌐 [hospidex.eu](http://hospidex.eu)

☎ +32 16 77 89 31

